

Tableau n° 29 : Lésions provoquées par des travaux effectués dans des milieux où la pression est supérieure à la pression atmosphérique

Introduction : Cette fiche est consacrée aux maladies professionnelles générées par les "lésions provoquées par les travaux effectués dans des milieux où la pression est supérieure à la pression atmosphérique". Elle fait partie d'une série à destination des médecins du travail, des entrepreneurs, des coordonnateurs SPS (Santé Protection de la Santé), des membres des CHSCT (Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail), etc. dans le but de leur permettre d'élaborer plus sûrement la politique de prévention de l'entreprise.

Elle fait la synthèse des lieux et professions exposés et donne des éléments de prévention déclinés selon les principes généraux de prévention. Elle sera une aide précieuse à la rédaction des plans particuliers de sécurité et de protection de la santé.

La signification des mots signalés par un astérisque* est exposée dans un glossaire situé en fin de fiche.

I - DÉFINITION DE LA NUISANCE ET DU RISQUE

Travaux en milieu hyperbare : travaux pour lesquels les travailleurs sont soumis à une pression supérieure à la pression atmosphérique locale.

II - LE RISQUE : OÙ LE TROUVE-T-ON ?

II.1. LES POSTES CONCERNÉS :

- Scaphandriers* (mention A*)
- Hyperbaristes* (mention D*)

II.2. LES TÂCHES CONCERNÉES :

II.2.1. Scaphandriers :

- Expertises de structures immergées.
- Bathymétrie* sous-marine ou sous fluviale, surveillance des fonds.
- Construction et consolidation de piles de pont.
- Réalisation de batardeaux* par mise en place de palplanches (béton de propreté en fond de batardeaux, recépage...).
- Désablage et décolmatage de puits de captage.
- Maintenance et entretien des barrages, des écluses, des ouvrages immergés.
- Plongée dans la boue bentonitique (tunneliers, parois moulées), égouts, stations d'épuration, sphères de stockages d'hydrocarbures, conduites de rejet en installations nucléaires de base (INB).
- Mise en place de caissons immergés.
- Plongée "offshore" (ancrage, calage de pipe-line, ensouillage, assistance au tirage, réparation de plateforme, soudure électrique en eau et à sec, découpage thermique (acier, béton), connexions mécanique et hydraulique...).

- Plongée en altitude (grotte et galerie d'accès).
Différentes techniques peuvent être employées pour ces travaux :

- Pose d'explosifs.
- Conduite de pelle sous-marine.
- Utilisation de brise-béton, de marteau piqueur pneumatique.
- Travaux de soudure à sec avec transfert en immersion.
- Travaux d'électricité, utilisation de lance thermique, d'hydrojet.

II.2.2. Hyperbaristes :

- Creusement de tunnels de différentes sections (excavation à l'air comprimé, tunneliers...).
- Travaux de soudage hyperbare.
- Contrôle de l'étanchéité de l'enceinte des réacteurs nucléaires (INB) : détection de fuites, jointoyage...

III - MÉCANISMES DES EFFETS SUR LA SANTÉ

III.1. LOIS PHYSIQUES :

Les affections survenant en milieu hyperbare sont essentiellement la conséquence de l'augmentation de la pression du milieu d'intervention. Elles s'expliquent par des lois physiques :

① **Loi de Mariotte** : quand la pression absolue* d'un gaz augmente, son volume diminue (à température constante) : $P \times V = \text{constante}$.

② **Loi de Dalton** : la pression partielle* d'un gaz dans un mélange gazeux est égale à la pression qu'il aurait s'il occupait seul le même volume. Lorsque la pression augmente, les pressions partielles des gaz constituant le mélange gazeux respiré (air ou mélange synthétique) augmentent dans les mêmes proportions.

À certaines pressions partielles, certains gaz deviendront de plus en plus toxiques. C'est le cas de : O₂ (oxygène), CO (gaz carbonique), N₂ (azote), He (hélium), H₂ (hydrogène) et des gaz introduits accidentellement : CO (monoxyde de carbone), CH₄ (méthane), H₂S (sulfure d'hydrogène), vapeurs d'huiles.

③ **Loi de Henry** : les gaz se dissolvent dans les liquides et cette dissolution est régie par la loi de Henry : la quantité de gaz dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression que ce gaz exerce à la surface du liquide.

III.2. RETENTISSEMENT SUR L'ORGANISME :

III.2.1. Accidents mécaniques ou barotraumatismes :

Ce sont des lésions traumatiques d'un organe, consécutives à une variation de pression. Ils sont la conséquence de la loi de Mariotte.

① **Accidents barotraumatiques pulmonaires** : surpressions pulmonaires.

Ils s'observent surtout chez les scaphandriers. Ces accidents sont extrêmement graves, parfois mortels. Ils se produisent lors de la remontée trop rapide, lorsque la pression diminue, les volumes gazeux pulmonaires se dilatent, entraînant soit un pneumothorax*, un pneumomédiastin*, un emphysème sous-cutané*, voire des embolies gazeuses* susceptibles de provoquer des troubles neurologiques graves (hémiplésies*, perte de connaissance...).

② **Accidents barotraumatiques de l'oreille et des sinus** :

② 1. Oreille :

• **Barotraumatismes de l'oreille moyenne** (figure 1)
Fréquents, ils sont rencontrés dans 1 à 2 % des

interventions et sont liés à une mauvaise équilibration des pressions de part et d'autre du tympan, en raison d'une mauvaise perméabilité de la trompe d'Eustache*, entraînant douleurs, voire perforation tympanique.

• Barotraumatismes de l'oreille interne

Moins fréquents, ils se traduisent par des douleurs auriculaires, des nausées avec parfois vomissements, une baisse de l'audition et des vertiges rotatoires* importants.

②.2. Sinus (figure 2)

Ces barotraumatismes sont dus à une mauvaise

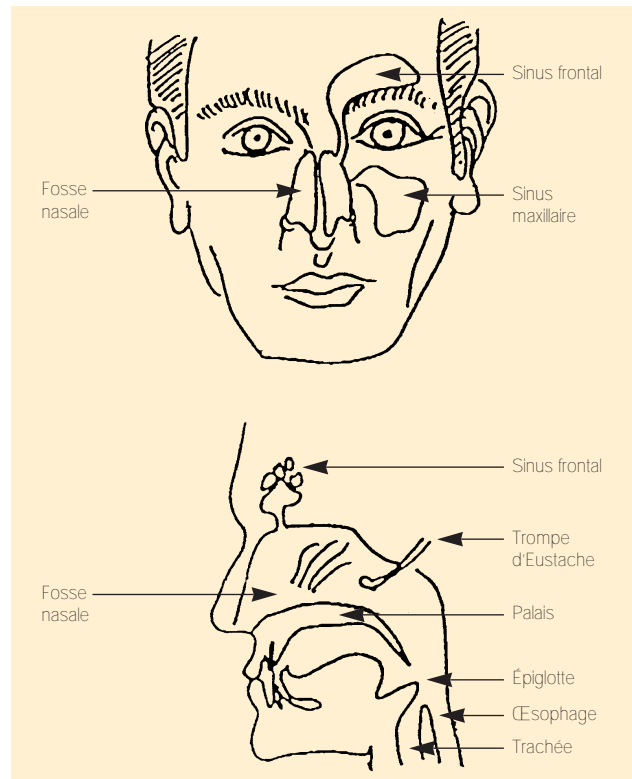


Figure 2 - Sinus de la face.

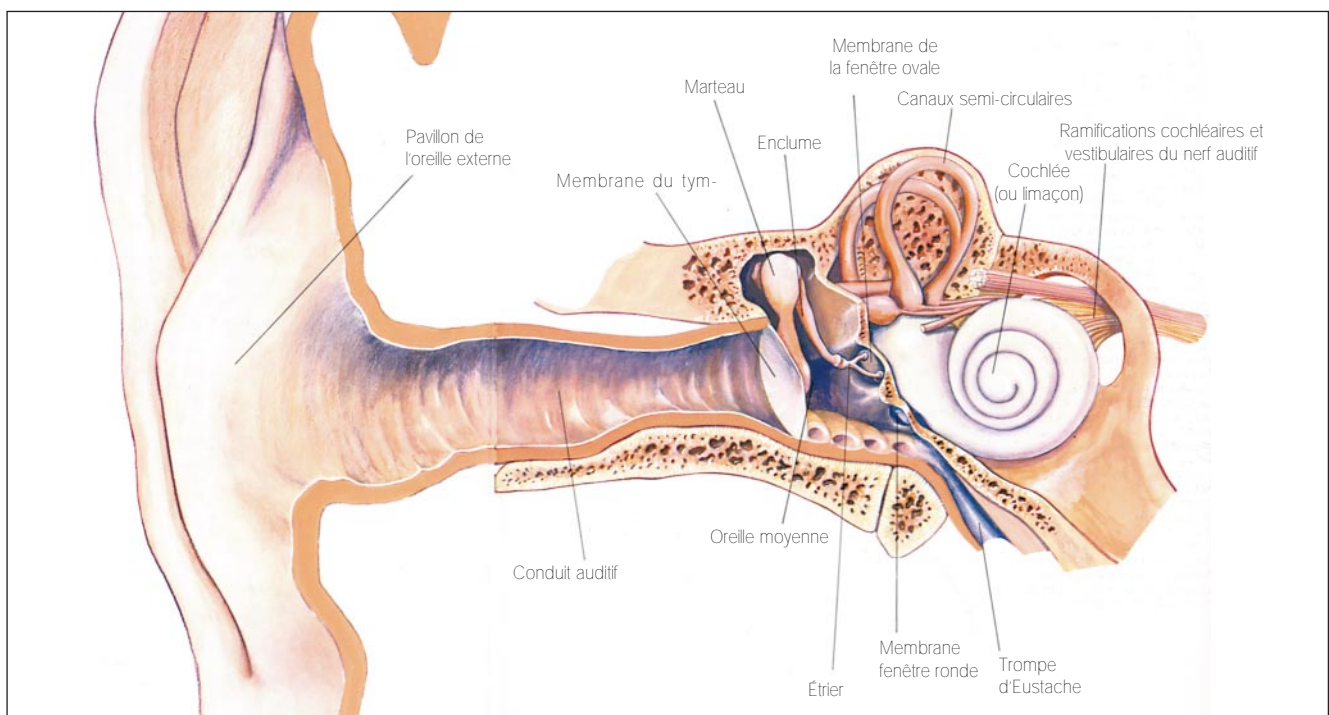


Figure 1 - Schéma de l'oreille.

équilibration des pressions entre les sinus de la face et l'air ambiant situé dans les fosses nasales provoquant douleurs, saignements de nez, larmoiements, maux de tête.

③ **Barotraumatismes de la face** ("squeeze")

Ils sont dus au masque (ou au casque) de plongée (effet "ventouse" sur le visage).

④ **Barotraumatismes du tube digestif**

La dilatation des gaz peut entraîner des douleurs abdominales et des ballonnements.

⑤ **Barotraumatismes dentaires**

Ils se voient en cas de mauvais état dentaire (caries) ou de plombages défectueux et se manifestent par des douleurs dentaires voire un arrachement de plombage.

III.2.2. Accidents biochimiques

Ces accidents sont une des conséquences de la loi de Dalton.

① **L'oxygène :**

- Effets neurotoxiques de l'oxygène (effet Paul Bert)

Les accidents neurologiques surviennent lorsque la pression partielle d'oxygène inspirée est voisine de 1,7 à 2 bars*. Le symptôme essentiel est représenté par une crise d'épilepsie. Si cette crise survient dans l'eau, il y a risque de noyade.

- Toxicité pulmonaire de l'oxygène (effet Lorrain-Smith)

L'oxygène peut devenir toxique pour le tissu pulmonaire si la pression partielle* augmente (au-delà de 0,5/0,6 bar) et si le temps d'exposition est supérieur à 24 heures, ce qui se traduit par une irritation des voies respiratoires avec douleur, toux, essoufflement, fièvre.

② **Le CO₂** (gaz carbonique)

Une mauvaise ventilation du masque chez le plongeur, le rejet de CO₂ par les tubistes lors de l'expiration va augmenter dans l'espace confiné de la chambre d'abattage, la concentration et la pression partielle en CO₂. L'intoxication au CO₂ se manifeste par des maux de tête, une polypnée*, voire une perte de connaissance. Par ailleurs, un taux élevé de CO₂ semble favoriser les accidents de décompression.

③ **L'azote**

L'azote, contenu dans l'air, devient narcotique pour des pressions partielles de l'ordre de 5 à 6 bars (pN₂ maximale = 5,6 bars) ; de ce fait la plongée en air comprimé n'est plus possible au-delà de 60 mètres. La narcose à l'azote se traduit par des troubles de l'attention, de l'orientation, de la concentration, des hallucinations visuelles voire auditives pouvant entraîner un comportement inadapté à la situation (arrachement du masque, des tuyaux...).

④ **L'hélium**

Pour plonger au-delà de 60 mètres, l'azote doit être remplacé totalement ou partiellement par un autre gaz inerte ayant un faible pouvoir narcotique. D'où l'utilisation de mélanges respiratoires synthétiques (hélium-oxygène notamment). L'hélium peut provo-

quer le syndrome nerveux des hautes pressions (SNHP) à partir de 30 bars si la compression n'est pas assez lente : il se caractérise par un tremblement et des troubles sérieux de la vigilance.

⑤ **CO (oxyde de carbone)**

L'intoxication au CO peut être due à une pollution de l'air d'alimentation de la chambre d'abattage ou de gonflage des bouteilles par des gaz d'échappement de moteur. Elle se traduit par une hypoxie*, provoquant des troubles de la conscience et des séquelles neurologiques graves. L'intoxication au CO a été responsable de plusieurs accidents mortels en plongée.

III.2.3. Accidents de décompression

Ils sont la conséquence de la loi de Henry.

① **Conséquences biologiques de la dissolution des gaz**

①.1. Lors de la compression

Les gaz composant les mélanges respiratoires se comportent de manière différente selon leur nature :

– L'oxygène combiné à l'hémoglobine ou dissous dans le plasma va être utilisé directement pour couvrir les besoins des tissus de l'organisme.

– L'azote (comme d'autres gaz inertes tels que l'hélium), inutilisé par les tissus, se dissout dans les liquides proportionnellement à la pression partielle du gaz et au coefficient de solubilité du gaz (l'azote est 5 à 6 fois plus soluble dans les graisses que dans l'eau).

La dissolution de l'azote n'est pas instantanée, elle se fait de façon progressive suivant une courbe d'allure asymptotique (figure 3.1) jusqu'à un état d'équilibre correspondant à la saturation* (figure 3.2).

①.2. Lors de la décompression* (figure 3)

Lorsque l'on baisse la pression de l'air respiré

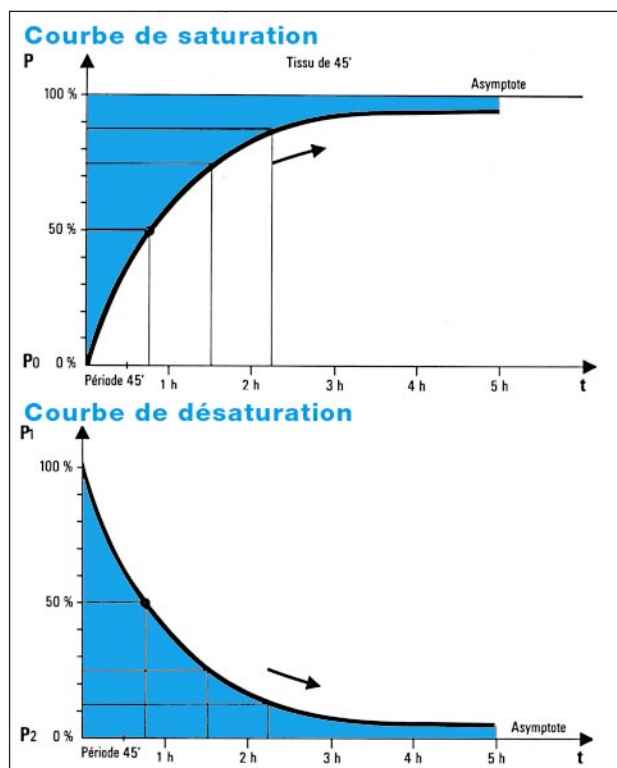


Figure 3.

(décompression), la quantité d'azote dissous dans les tissus diminue. Le dégazage progressif de tous les tissus nécessite une décompression à vitesse décroissante en respectant les paliers.

L'absence de paliers ou une remontée trop rapide entraîne une rupture des équilibres avec formation de bulles (azote, hélium...) éliminées par la circulation sanguine. Ces bulles obstruent les petits vaisseaux sanguins et provoquent les accidents de décompression.

🕒 Les accidents

🕒.1. Les accidents de type I (bénins)

• Accidents cutanés

Ils sont liés à l'apparition de bulles de gaz dans les capillaires* sous cutanés. Ils se traduisent par :

- des "puces" : fourmillements, démangeaisons, sensations de piqûre, de brûlure, siégeant surtout au niveau du tronc ou des membres supérieurs,
- des "moutons" : éruption avec boursoufflures de la peau, plus ou moins étendues, peu douloureuses.

• Accidents ostéo-arthro-musculaires

Ces accidents, dénommés "bends", sont provoqués par la présence de bulles de gaz dans les articulations, les tendons près de leurs insertions, les os, les vaisseaux articulaires.

Le "bend" apparaît habituellement dans un délai d'une demi-heure à plusieurs heures, après une plongée ou un séjour en air comprimé, ayant comporté un effort physique. Sa localisation touche généralement une seule articulation avec par ordre décroissant l'épaule, le genou, le coude, la hanche, le poignet et la cheville, rarement plusieurs articulations. Le côté atteint est fonction des efforts fournis en cours de travail.

La douleur est le symptôme principal : insidieuse à son début, elle peut s'accroître progressivement jusqu'à devenir intolérable avec sensation de broiement et d'arrachement accompagnée d'une gêne fonctionnelle.

Cette douleur résiste aux antalgiques mais cède rapidement à la recompression thérapeutique.

Les "bends" doivent bénéficier dans les plus brefs délais d'une recompression thérapeutique sous peine de voir apparaître plusieurs mois ou plusieurs années après, une nécrose aseptique* atteignant la moelle et le tissu osseux : l'ostéonécrose dysbarique.

Celle-ci se traduit par des douleurs articulaires (épaules, hanches surtout) devenant permanentes avec impotence fonctionnelle. Le diagnostic sera confirmé par la radiographie, l'IRM* ou la scintigraphie osseuse.

🕒.2. Les accidents de type II (sérieux)

• Les accidents vestibulaires

Il s'agit d'un blocage circulatoire par des bulles d'azote dans l'une des branches de l'artère qui irrigue l'oreille interne. Ils se manifestent par des vertiges, des troubles de l'équilibre, parfois une baisse de l'audition avec des sifflements d'oreilles, des nausées puis des vomissements. Ces accidents sont souvent associés à la plongée très profonde à

Saturation

La saturation est définie par l'équilibre des pressions entre la pression partielle et l'azote dans l'air alvéolaire et la pression partielle de l'azote dissous dans l'organisme. Elle est obtenue lorsqu'un nombre identique de molécules de gaz (azote) entrent ou sortent de la phase liquide constituant les tissus.

Cette saturation n'est cependant atteinte, pour une pression donnée, qu'en des durées variables selon les tissus. Les tissus sont caractérisés, en effet, par leur période ou temps nécessaire à leur demi-saturation (cette durée peut varier de quelques minutes à plusieurs heures).

Schématiquement, on retient deux types de tissus :

- les tissus à période courte : sang, cerveau, moelle épinière...
- les tissus à période longue : graisse, os, tendons, articulations...

Décompression

Lorsque l'on diminue la pression de l'air respiré (décompression), la pression de l'air alvéolaire diminue, la quantité d'azote dissous dans les tissus diminue, c'est-à-dire que le nombre de molécules d'azote sortant de la phase liquide sera supérieur au nombre de molécules y entrant : c'est la désaturation qui va se poursuivre jusqu'à un nouvel état de saturation correspondant à la nouvelle pression ambiante. La vitesse du processus va cependant, là aussi, dépendre de la période respective de chaque tissu, si bien que lors de la décompression, la pression partielle de l'azote dissous dans les tissus sera supérieure à la pression partielle de l'azote sous forme gazeuse : les tissus se trouvent alors en état de sursaturation par rapport à la pression ambiante (un liquide est sursaturé lorsqu'il contient en dissolution plus de gaz qu'il ne devrait en contenir à cette pression).

Cet état de sursaturation est instable et persiste jusqu'au moment où la saturation, correspondant à la nouvelle pression ambiante est atteinte. Cette sursaturation ne doit pas dépasser une certaine valeur critique (appelée **coefficient de sursaturation critique**) au-delà de laquelle il peut y avoir formation de bulles d'azote dans les tissus de l'organisme qui vont être éliminées par la circulation sanguine. Ces bulles obstruent les petits vaisseaux sanguins, ralentissent ou arrêtent la circulation d'amont (ischémie) provoquant alors l'accident de décompression (extrait de l'*Encyclopédie Médico-Chirurgicale* - (Paris-France), « Intoxications », 16500 A 10, 5-1994, 16 pages - Drs G. Susbielle et J.-C. Le Pechon, "Le travail en plongée et en air comprimé").

Cette notion de coefficient de sursaturation critique va conditionner le retour vers la pression atmosphérique. Un dégazage progressif de tous les tissus nécessite une décompression à vitesse décroissante en respectant des paliers, au fur et à mesure qu'on se rapproche de la pression atmosphérique.

l'hélium mais ils peuvent également survenir après des interventions à l'air.

+ • **Les accidents cérébraux**

Ils sont rares et sont la conséquence d'un trouble circulatoire cérébral entraînant entre autres troubles neurologiques : épilepsie, hémiplégié.

+ • **Les accidents de la moelle épinière**

Plus fréquents, ils peuvent se traduire par une paraplégie*.

• **3. Autres accidents**

Des effets psychologiques dus au défaut de visibilité (obscurité, noir...) ou à la présence de courant ont pour conséquence une augmentation sensible du stress.

Associés au travail en milieu hyperbare, des accidents par noyade peuvent être observés lors des plongées.

D'autre part, l'inflammabilité des matériaux étant accentuée en milieu hyperbare, des incendies peuvent éclater plus facilement.

+ Le découpage à l'œil nu (impossibilité de port de masque de protection) entraîne un effet stroboscopique* qui occasionnerait des vertiges. Des tests sont effectués lors de l'embauche.

Lors d'utilisation de la méthode de découpage à l'hydrojet, l'absence de contre-poussée (contre-jet) entraîne un reflux susceptible de provoquer des déséquilibres, voire d'autres accidents...

IV - SURVEILLANCE MÉDICALE DU TRAVAIL

La détermination de l'aptitude médicale aux travaux en milieu hyperbare nécessite un bilan médical approfondi avant l'affectation au poste et renouvelé tant que dure l'exposition.

Le contenu de ces examens est défini par la réglementation (décret du 28 mars 1990 et arrêté du 28 mars 1991).

+ La limite d'âge pour postuler pour la première fois au certificat d'aptitude à l'hyperbarie est fixée à 18 ans au moins, et jusqu'à 40 ans pour la plongée et 55 ans pour les hyperbaristes relevant des classes 1 et 2 (article 4 du décret du 28 mars 1990 - arrêté du 20 août 1991).

V - TRAITEMENT DES ACCIDENTS DE DÉCOMPRESSION

La recompression thérapeutique est une urgence. Son but est triple :

- réduction du diamètre de la bulle,
- élimination de l'azote,
- lutte contre le manque d'oxygène.

Les protocoles de recompression sont variables en fonction des signes présentés par l'accidenté.

+ Cette recompression thérapeutique est réalisée dans un caisson médical en milieu hospitalier ou sur site dans un caisson thérapeutique, en faisant respirer à la victime pendant plusieurs heures de l'oxygène pur sous pression en alternance avec de l'air pour limiter les effets toxiques de l'oxygène.

VI - DÉMARCHES DE PRÉVENTION

VI.1. PRÉVENTION TECHNIQUE

Cette approche n'est pas exhaustive, car chaque situation en milieu hyperbare est spécifique et nécessite une étude approfondie et particulière. Ce développement donne des tendances de réflexion.

a) Éviter le risque :

Éviter le risque, c'est éviter de pénétrer en milieu hyperbare. Ceci résulte d'un choix de méthode de travail, de l'existence d'une alternative technologique ou d'une opportunité technique. Quelle que soit la situation, il convient de ne pas oublier que le travail dans une atmosphère hyperbare est contre nature (anti-physiologique) pour l'homme. Ces interventions ne sont jamais sans danger. (cf. article "Évitons la pression !", paru dans le n° 6/1997 des *Cahiers des Comités de Prévention du BTP* - pages 12 à 15).

b) Évaluer le risque qui ne peut être évité :

L'évaluation de l'exposition au risque hyperbare repose sur :

- la formation de l'équipe de plongée,
- la maîtrise de la qualité de l'air ou des mélanges,
- la maîtrise de la pression et des procédures d'intervention.

c) Combattre le risque à la source :

- Adapter les mélanges respiratoires aux activités hyperbares.
- Limiter la respiration d'air comprimé à une pression relative* de 6 bars. Au-delà de 6 bars, des mélanges respiratoires spécifiques doivent être utilisés. Il est recommandé pour des travaux lourds de ne pas dépasser 5 bars.
- Respecter les limites admissibles de pressions partielles des gaz respirés :

$$p_{CO_2} \leq 10 \text{ mbars}$$

$$p_{CO} \leq 0,05 \text{ mbar}$$

$$p_{N_2} \leq 5,6 \text{ bars}$$

$$p_{O_2} \geq 160 \text{ mbars} \text{ mais jamais } > 25 \% \text{ de la pression totale dans une enceinte hyperbare.}$$

$$p_{\text{vapeur d'huile}} \leq 0,5 \text{ mbar (exprimé en équivalent méthane).}$$

- Maintenir l'atmosphère à un degré hygrométrique compris entre 60 et 80 %.

d) Adapter le travail à l'homme :

- Limiter la durée du travail : 3 heures par jour pour les scaphandriers, 6 heures par jour pour les hyperbaristes y compris les temps de compression et de décompression (arrêté du 15 mai 1992).
- Respecter les tables et les procédures de décompression en fonction de la pression d'intervention et du temps passé en milieu hyperbare.
- Éviter les efforts physiques ou la sollicitation forcée et répétitive des articulations.
- Privilégier la mécanisation des tâches (moyens de manutention ou de déplacement de charges).
- Ménager des temps de pause suffisants et effectuer une rotation fréquente du personnel.

- Améliorer le confort du personnel en prévoyant des sas de dimension suffisante.
- Diminuer les contraintes thermiques, notamment au froid lors de la décompression, facteur favorisant les accidents de décompression. Pour la plongée, il est souhaitable de favoriser la circulation d'eau chaude dans la combinaison. Les combinaisons peuvent être épaisses en profondeur.

e) Tenir compte de l'état d'évolution de la technique :

- Privilégier les techniques supprimant les interventions de l'homme dans le milieu hyperbare : robotisation ou mécanisation de changements des outils de coupe, automatisation des dispositifs de nettoyage de la vis et des concasseurs, contrôle à distance de l'usure de pièces (caméra, témoins d'usure, visualisation à distance du joint de roulement principal de tête, fonctionnement automatique du graissage des joints de tête).
- Robotisation des matériels d'intervention subaquatique et visualisation à distance (vidéo sous-marine assistée).

f) Remplacer ce qui est dangereux par ce qui est moins dangereux ou pas dangereux :

- Privilégier les interventions dans des zones de pression moins élevée (puits intermédiaires, consolidation des terrains). Préférer les plongées au narguilé plutôt qu'en bouteille (contrôle de la pression, liaisons phoniques, altimétrie, eau chaude, ligne de vie, caméra, hydraulique, lumière, etc.)

g) Planifier la prévention :

Les contraintes organisationnelles sont importantes du fait des conditions de travail difficiles. Elles font l'objet d'une préparation de chantier primordiale.

- Privilégier les tracés de galeries dans les zones ne comportant pas d'interventions hyperbares.
- Planifier les interventions de maintenance et d'entretien dans les zones à pression atmosphérique.
- Prévoir les procédures d'intervention et les procédures de sécurité.
- Procéder à des répétitions pratiques en aveugle et en pression atmosphérique, des interventions qui seront réalisées ensuite sous pression.
- Procéder à des exercices de secours avec les organismes compétents, l'équipe de plongeurs/ secours et le chef de poste.
- Prévoir les différents dispositifs de secours et de contrôle de l'atmosphère, leur maintenance et leur entretien.
- Prévoir les différents moyens d'accès, de séjour, de sortie, d'organisation, de surveillance, de production, de transfert, de stockage, de distribution, de contrôle des gaz respiratoires.

h) Prendre des mesures de protections collectives en priorité sur les protections individuelles :

Collectives :

La protection collective est surtout liée à la conception des matériels qui doit répondre aux prescrip-

tions du décret du 28 mars 1990 notamment pour le matériel utilisant la pression.

- Assurer la qualité de l'air.

Les pressions partielles des gaz dans l'air ou les mélanges respirés ne doivent pas dépasser :

- 10 millibars (0,010 bar) pour le CO₂,
- 0,05 millibar pour le CO,
- 5,6 bars pour l'azote.

En ce qui concerne l'oxygène, la pression partielle dans un mélange respiré ne doit pas être inférieure à 160 millibars (0,16 bar). Par ailleurs, la pression partielle de l'oxygène dans une enceinte hyperbare de travail ne doit jamais être supérieure à 25 % de la pression totale, sinon il y a risque d'incendie et d'explosion.

L'air et les mélanges fournis par des compresseurs et destinés à la respiration hyperbare doivent être analysés après tout montage d'une installation nouvelle, puis au moins une fois par an, ainsi qu'après constatation d'une anomalie ou après toute réparation de l'installation.

L'aspiration des compresseurs doit se faire dans un endroit ne présentant pas de risque de pollution, notamment par des gaz d'échappement de moteur, des brouillards de vapeurs d'huiles ou d'hydrocarbures, du gaz carbonique ou de l'oxyde de carbone. Les filtres doivent être purgés régulièrement.

Les mélanges respiratoires doivent être adaptés aux activités hyperbares en particulier en respectant les limites de profondeur en fonction du mélange utilisé (pas plus de 60 mètres en cas de plongée à l'air). En cas de travaux difficiles ou pénibles (manutention d'objets lourds), il est recommandé de ne pas dépasser 50 mètres.

- Aménager les accès et les circulations.
- Assurer la bonne ouverture des portes des sas en fonction des différentes possibilités de pression.
- Assurer une surveillance extérieure (pression atmosphérique) de manière à faciliter l'intervention des secours en cas d'accident, de malaise survenant dans le milieu.
- Améliorer les moyens de communication d'alerte et de secours.
- Constituer des équipes formées et cohérentes.
- Concevoir les commandes des machines de manière à les différencier au toucher (travail en aveugle).

Individuelles :

- Fournir : des vêtements de protection, des appareils respiratoires agréés, les accessoires et un dispositif de réserve de gaz de secours appropriés.
- S'assurer que les appareils respiratoires délivrent l'air ou le mélange respiratoire sans résistance excessive.
- Assurer des moyens suffisants d'hydratation et de protection contre le froid lors de la décompression.

i) Formation, information des salariés

- Formation spécifique aux risques et au site pour les intervenants et le chef de sas (arrêté du 28/01/1991).
- Formation à l'utilisation des protections individuelles.
- Formation aux interventions de secours.

VI.2. PRÉVENTION MÉDICALE

+ Mesures spécifiques aux différents risques d'accident.

① Barotraumatismes

- **Surpression pulmonaire** : le plongeur doit particulièrement veiller au libre jeu de l'expiration notamment lors des remontées rapides et près de la surface. Il doit pouvoir contrôler sa vitesse de remontée, d'où l'importance de l'entraînement et de la connaissance des risques. Une parfaite intégrité de la fonction pulmonaire est nécessaire.

- **Barotraumatismes de l'oreille moyenne** : la prévention repose sur une bonne maîtrise des manœuvres d'équilibrage des pressions de part et d'autre du tympan (manœuvre de Valsalva*). Toute mauvaise perméabilité de la trompe d'Eustache (rhume, rhinite, catarrhe tubaire*) constitue une contre-indication à travailler en milieu hyperbare.

+ **Barotraumatismes des sinus** : une sinusite ou un état catarrhal contre-indique momentanément le travail en air comprimé.

- **Barotraumatismes des dents et de l'appareil digestif** :

- Nécessité d'un bon état dentaire et d'amalgames bien adaptés.

- Éviter d'absorber des féculents ou des boissons gazeuses avant une intervention en milieu hyperbare.

② Accidents biochimiques

Ils seront évités par une bonne prévention technique.

③ Accidents de décompression

L'arrêté du 15 mai 1992 définissant les procédures d'accès, de séjour, de sortie et d'organisation du travail en milieu hyperbare prévoit aussi bien pour les interventions en milieu subaquatique (mention A) que pour les interventions hyperbares sans immersion (mention D) :

+ **Une limitation de la durée du travail** : 3 heures par jour pour les scaphandriers, 6 heures par jour pour les hyperbaristes y compris les temps de compression et de décompression.

- **Des tables et des procédures de décompression** en fonction de la pression d'intervention (profondeur atteinte) et du temps passé en milieu hyperbare.

Dans le cas où les conditions d'intervention sont telles qu'elles peuvent nuire à la sécurité de la décompression et pour procurer à l'intervenant une

marge de sécurité supplémentaire, il faut utiliser le temps d'intervention immédiatement supérieur disponible dans la table.

Pendant les 2 heures qui suivent une décompression, il est recommandé d'éviter toute tâche nécessitant un effort physique, ainsi que toute activité physique soutenue, telle que course, montée d'escalier, exercices sportifs intenses, plongée de surface.

Le délai à observer, à l'issue d'une intervention hyperbare avant d'être soumis à une pression ambiante significativement plus basse que la pression normale du lieu d'opération, (notamment à l'occasion d'un voyage aérien/vol en avion commercial) est de 12 heures (le délai est ramené à 4 heures si la décompression se fait sans palier).

VII - ÉVOLUTION DU NOMBRE DE "LÉSIONS PROVOQUÉES PAR DES TRAVAUX EFFECTUÉS DANS DES MILIEUX OÙ LA PRESSION EST SUPÉRIEURE À LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE"

(d'après les statistiques de la CNAM)

Période	Cas cumulés BTP	Cas cumulés toutes professions
1950 → 1959	86	97
1960 → 1969	51	54
1970 → 1979	23	36
1980 → 1989	16	25
1990 → 1996	4	16

Le tableau n° 29, réparant les lésions provoquées par des travaux effectués dans des milieux où la pression est supérieure à la pression atmosphérique a été créé le 11 février 1949 (dernière mise à jour le 19 juin 1977).

L'analyse des statistiques des maladies professionnelles reconnues permet de faire les observations suivantes :

- Près de 80 % des cas concernent des salariés du BTP (scaphandriers, tubistes, travaux en tunneliers...) mais d'autres professions en dehors du BTP peuvent être concernées (exemple : archéologues, plongeurs scientifiques, cinéastes, moniteurs de plongée, etc.)

- Depuis 1950, on constate une décroissance régulière et importante du nombre de pathologies recon-

Tableau n° 29

Lésions provoquées par des travaux effectués dans des milieux où la pression est supérieure à la

Date de création : 11 février 1949 - Dernière mise à jour : 19 juin 1977 (décret du 2 juin 1977)

Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste limitative des travaux susceptibles de provoquer ces
<ul style="list-style-type: none"> • Ostéonécrose avec ou sans atteinte articulaire intéressant l'épaule, la hanche et le genou, confirmée par l'aspect radiologique des lésions. • Syndrome vertigineux confirmé par épreuve labyrinthique. • Otite moyenne subaiguë ou chronique. • Hypoacousie par lésion cochléaire irréversible, s'accompagnant ou non de troubles labyrinthiques et ne s'aggravant pas après arrêt d'exposition au risque. Le diagnostic sera confirmé par une audiométrie 	20 ans 3 mois 3 mois 1 an	Travaux effectués par les tubistes. Travaux effectués par les scaphandriers. Travaux effectués par les plongeurs munis ou non d'appareils respiratoires individuels. Interventions en milieu hyperbare.

nues. Ceci s'explique avant tout par l'amélioration des connaissances des effets de l'hyperbarie sur l'organisme humain, ce qui a permis de circonscrire le risque et d'élaborer des procédures de travail et de sécurité adaptées.

– Malgré les gains en "sécurité" importants depuis 40 ans, le risque zéro n'est pas encore atteint. Consignes de sécurité, bon respect des procédures par les entreprises, suivi médical ne suffisent pas toujours car ce risque se caractérise par une part d'imprévisible en partie liée à la variabilité de réaction des organismes humains soumis à ces conditions extrêmes.

VIII - RÉGLEMENTATION

- Décret n° 90-277 du 28 mars 1990
 - Arrêté du 28 janvier 1991
 - Arrêté du 28 mars 1991
 - Article 4 du décret du 28 mars 1990
 - Arrêté du 20 août 1991
 - Arrêté du 15 mai 1992
- Tableau des maladies professionnelles n° 29

Ont participé à cette étude :

Rédacteurs :

- Dr. J.-P. Baud, Comité régional Rhône-Alpes
- M. M. Letoublon, Ingénieur de Prévention - Comité régional Rhône-Alpes
- Mme M.-Ch. Michel, Comité national - Ingénieur au service technique
- Dr. A. Pelé, Comité régional Bretagne

Relecteurs (en plus des rédacteurs) :

- Dr. J.-C. Abécassis, Comité régional Paris-Île-de-France
- Dr. J.-F. Boulat, Comité national
- Dr. L. Gucève, Comité régional Alsace-Moselle
- Pr. P. Frimat, Comité régional Nord-Picardie
- Dr. G. Péguin, Comité régional Sud-Est
- Dr. G. Serrano-Duchalet, Comité régional Midi-Pyrénées
- M. L. Elias, DAS au Comité régional Languedoc-Roussillon. ■

GLOSSAIRE

- * **Batardeau** : paroi mince en palplanches ou pieux, destinée à détourner les eaux ou à les retenir pendant les travaux
- * **Bar** : unité usuelle de la pression – un bar = une atmosphère = une colonne d'eau de 10 mètres de hauteur
- * **Bathymétrie** : mesure de la profondeur des rivières ou des fonds
- * **Capillaire** : vaisseau sanguin très fin
- * **Catarrhe tubaire** : inflammation de la trompe d'Eustache
- * **Décompression** : (voir encadré)
- * **Embolie gazeuse** : oblitération d'un vaisseau sanguin par des bulles de gaz
- * **Emphysème sous-cutané** : infiltration d'air sous la peau
- * **Hémiplégie** : paralysie d'une moitié du corps, droite ou gauche
- * **Hyperbaristes** : personne intervenant sous immersion dans un milieu à une pression supérieure à la pression atmosphérique
- * **Hypoxie** : baisse de la concentration sanguine en oxygène
- * **IRM** : imagerie par résonnance magnétique (technique d'imagerie médicale, non irradiante)
- * **Manœuvre de Valsalva** : manœuvre consistant à créer une surpression au niveau de la gorge en soufflant bouche fermée et nez pincé afin de provoquer l'ouverture de la trompe d'Eustache
- * **Mentions** : types d'activités effectuées en milieu hyperbare
- * **Mention A** : activités de scaphandrier dont le travail principal consiste à intervenir en milieu subaquatique pour y effectuer des opérations de génie civil, des travaux maritimes, pétroliers, industriels

- * **Mention D** : activités d'hyperbaristes effectuant des travaux sans immersion (tubistes, soudeurs hyperbares, plongées simulées expérimentales en ambiance sèche...)
- * **Nécrose aseptique** : destruction localisée d'un tissu ou d'un organe secondaire à un arrêt circulatoire
- * **Paraplégie** : paralysie des deux membres inférieurs
- * **Pneumomédiastin** : épanchement d'air dans la région médiane du thorax située entre les deux poumons, le sternum et la colonne vertébrale
- * **Pneumothorax** : épanchement d'air entre les deux feuillets de la plèvre recouvrant le poumon
- * **Polypnée** : augmentation de la fréquence respiratoire
- * **Pressions** :
 - relative : pression due à la profondeur, c'est-à-dire pression de la colonne d'eau qui est située au dessus
 - absolue : pression mesurée par rapport au vide : $P_A = \text{pression relative} + \text{pression atmosphérique}$
 - partielle : c'est la pression qu'aurait un gaz dans un mélange s'il occupait seul le même volume
- * **Saturation** : voir encadré
- * **Scaphandriers** : personne intervenant en milieu subaquatique et soumise à une pression supérieure à la pression atmosphérique
- * **Stroboscopique** (effet) : effet associé à la vision d'objets soumis à un mouvement périodique rapide qui entraîne, du fait de la persistance des impressions lumineuses, un apparent ralentissement de ce mouvement
- * **Trompe d'Eustache** : conduit qui fait communiquer l'arrière-gorge avec l'oreille moyenne
- * **Vertiges rotatoires** : sensation qu'éprouve une personne de voir se déplacer les objets qui l'entourent avec impression de chute imminente